

Chapitre 8

Les applications alimentaires du chitosane et dérivés

Miriam Pérez-Mateos

Instituto del Frío (CSIC), José Antonio Novais, 10, E28040 Madrid, Spain

Résumé – Les consommateurs demandent des aliments de plus en plus sécurisés possédant de nouvelles fonctions (domaine des « alicaments »), avec des durées de consommation plus longues et des emballages qui respectent l'environnement. Ceci oblige le secteur industriel à développer de nouvelles stratégies pour la préparation et le packaging des aliments. Les recherches actuelles s'orientent non seulement sur l'incorporation d'additifs et d'ingrédients naturels fonctionnels, mais également sur le développement de films biocompatibles. Le chitosane semble être une alternative prometteuse dans le domaine alimentaire car c'est un produit naturel biocompatible et biodégradable obtenu à partir de co-produits. Le chitosane peut être soit incorporé directement dans les produits pour jouer un rôle fonctionnel ou d'additif, soit être utilisé comme film protecteur.

Mots-clés : chitosane / antioxydant / antimicrobien / film bioactif / diminution du cholestérol / prébiotique

Abstract – Food application of chitosan and its derivatives. Nowadays consumers demand microbiologically safer foods with longer product shelf life and with environmentally friendly packaging. This is forcing the industry to develop new food-processing and packaging strategies; such as seeking new natural additives and developing bioactive films, which are both edible and biodegradable, for food conservation. Chitosan seems to be a potential alternative additive for food application, since it is a natural compound obtained from by-products that can be incorporated into the food product or as edible films, and due to its functional properties, namely protecting the food and benefiting the consumer after its consumption.

Key words: chitosan / antioxidant / antimicrobial / bioactive film / cholesterol-lowering / prebiotic

Sommaire

1. Introduction
2. Chitosane et dérivés
3. Le chitosane comme additif alimentaire
 - 3.1.-Capacité antimicrobienne
 - 3.2- Capacité antioxydante
 - 3.3 Capacité de formation de films protecteurs
 - 3.4 Capacité gélifiante et émulsionnante
4. Le chitosane comme ingrédient fonctionnel
 - 4.1 Capacité liquante de graisse
 - 4.2. – Capacité prébiotique

Références bibliographiques

Remerciements

Nota.- Los ítems de Digital.CSIC están protegidos por **copyright**, con todos los derechos reservados, a menos que se indique lo contrario.

1. Introduction

Dans l'élaboration des aliments, il est nécessaire d'ajouter des additifs alimentaires qui, par définition, sont des substances sans valeur nutritionnelle mais qu'on ajoute volontairement aux aliments en raison de leurs effets positifs notamment au niveau de leur stabilisation et conservation. Les additifs protègent les aliments non seulement de la contamination microbienne, mais également des phénomènes d'oxydation (des graisses par exemple). Ils assurent ainsi la qualité du produit jusqu'au moment de sa consommation. Ces dernières années, la tendance mondiale de la consommation a montré un intérêt accentué pour des produits contenant des additifs naturels. Cette tendance a renforcé la recherche de nouveaux produits à base de chitosane pouvant être utilisé comme conservateur, stabilisateur ou épaississeur d'aliments.

Depuis une vingtaine d'années sont apparus les « aliments fonctionnels ». Ces aliments fonctionnels ont à la fois une valeur nutritionnelle et des effets positifs sur la santé (produits amaigrissants, fixateurs de graisses, lutte contre l'excès pondéral...). Dans le secteur de la pêche, les nouveaux produits apparus sont des aliments dits restructurés enrichis et/ou fortifiés avec des ingrédients fonctionnels. Dans ces produits, on va d'une part renforcer les propriétés nutritionnelles intrinsèques des tissus musculaires des poissons en incorporant des quantités de vitamines, de minéraux et d'acides gras poly-insaturés (oméga-3), et d'autre part ajouter des composés que la chair de poisson ne possède pas, comme, par exemple, des fibres de chitosane (1).

Le chitosane possède plusieurs rôles dans l'alimentation, autant technologiques que biologiques. Il peut être incorporé dans l'aliment en tant qu'agent de conservation ou d'antioxydant : il joue alors un rôle anti-bactérien pour préserver les aliments. Il peut également être utilisé comme fibre diététique pour, par exemple, fixer le cholestérol ou les acides gras, ou encore pour augmenter la sensation de satiété. Il peut, enfin, servir de matrice pour la préparation d'emballages biodégradables et comestibles.

2. Chitosane et dérivés

Le chitosane est une fibre d'origine animale extraite de la chitine que l'on rencontre principalement dans les exosquelettes des crustacés et des mollusques (2,3). On trouve également la chitine dans la paroi intestinale de certains insectes et dans les parois cellulaires de champignons et de certaines algues. La chitine et la chitosane présentent une structure similaire à celle de la cellulose, mais ce sont des aminopolysaccharides contenant à la fois des groupements D-glucosamine et N-acétyl-D-glucosamine. Le chitosane est obtenu industriellement par des réactions de désacétylation. La distinction entre les deux polymères se fait par le degré d'acétylation (DA) : tout copolymère ayant un DA inférieur à 50% est un chitosane. La principale caractéristique du chitosane par rapport aux autres polymères naturels est sa polycationicité ($pK_a = 6.2 - 6.8$, fonction du DA) qui lui permet d'interagir avec des substances anioniques comme les protéines, les polymères anioniques, les acides gras, les acides biliaires ou encore les phospholipides. Ce biopolymère possède ainsi de nombreuses applications concrètes dans des domaines aussi variés que l'industrie pharmaceutique, la médecine, l'agriculture ou encore l'environnement (4-13).

Dans l'industrie alimentaire, son utilisation n'est pas encore généralisée, à l'exception des pays asiatiques (Japon, Corée) où on peut trouver de nombreux produits alimentaires enrichis en chitosane (pâte de soja, pommes frites, nouilles). Aux Etats-Unis, la *Food and Drug Administration* (FDA) permet d'utiliser le chitosane comme ingrédient (*Generally Recognized as Safe - GRAS*) dans certaines applications et comme film comestible pour protéger les aliments. En Europe, le chitosane est autorisé dans la fabrication de compléments alimentaires commercialisés sous forme de capsules ou de tablettes pour réguler la mobilité intestinale et favoriser l'élimination du cholestérol et des triglycérides (11,15).

Les propriétés du chitosane sont intimement liées à son mode d'extraction et de préparation. On peut en effet obtenir des polymères avec des caractéristiques physico-chimiques très différentes, notamment avec des masses moléculaires et des DA variés (16-25). Parmi les dérivés du chitosane, on peut distinguer les produits obtenus par des réactions chimiques comme la sulfatation et la phosphorylation, ou par des traitements enzymatiques qui permettent d'obtenir des oligomères ou de petites fractions de chitosane. Ces dérivés à propriétés biologiques spécifiques peuvent permettre, par exemple, de diminuer le taux de cholestérol dans le sang, d'abaisser la pression du sang, de protéger l'organisme contre les infections, de contrôler l'arthrite ou encore de renforcer les propriétés anti-tumorales (26-30).

Le chitosane est une fibre naturelle que l'organisme ne peut pas assimiler. Il n'est pas hydrolysé par les enzymes digestives (30). Néanmoins, une certaine digestion est effectuée par la flore bactérienne et par l'activité non spécifique de quelques enzymes digestives (amylases, lipases). Le chitosane est lui même une substance insoluble, mais soluble dans des acides organiques comme l'acide lactique, l'acide acétique et l'acide formique (**Figure 1**) Les dérivés du chitosane sous forme acétate, ascorbique, lactique et maléate sont alors solubles dans l'eau (31). Cette solubilité en condition acide limite cependant l'action et l'application comme conservateur dans des aliments aux pH faibles. Des recherches sont menées actuellement pour modifier le chitosane pour qu'il soit actif en milieu neutre. Des dérivés sulfatés ou des formulations sous forme d'émulsions permettent de rendre le chitosane soluble dans une large gamme de pH (31,32).

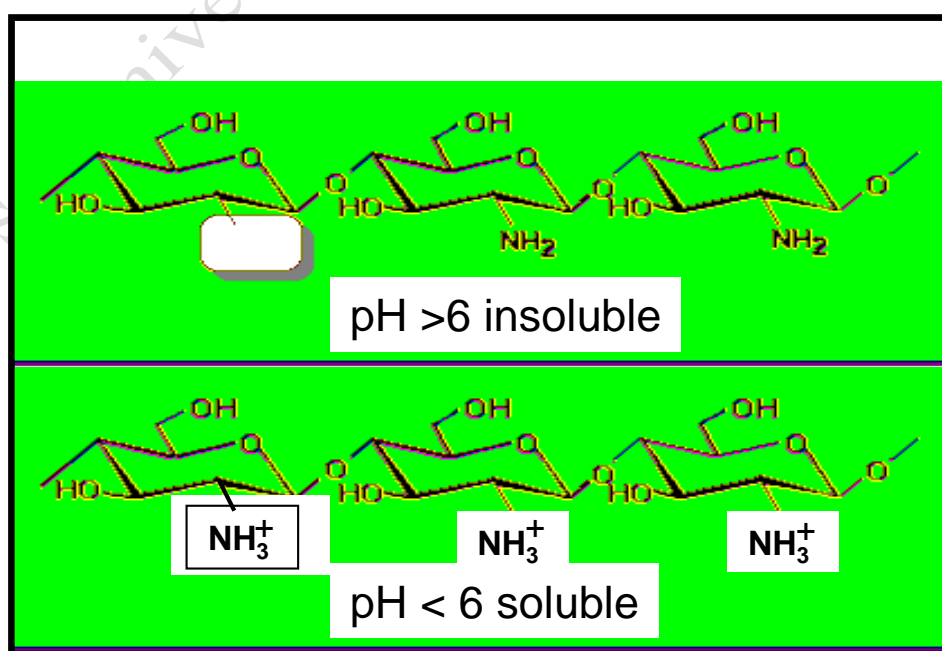


Figure 1. Solubilité du chitosane selon le pH du milieu (schéma simplifié car la solubilité dépend de nombreux facteurs).

3. Le chitosane comme additif alimentaire

On peut utiliser le chitosane d'un point de vue technologique principalement pour son pouvoir antimicrobien et antioxydant, pour ses propriétés émulsifiantes, épaississantes et liantes, ainsi que pour sa capacité de formation de films protecteurs. Plusieurs études ont montré que l'incorporation du chitosane dans les aliments permet d'éviter l'oxydation lipidique et la dégradation microbienne des viandes et des poissons et permet également de modifier la texture des saucisses et des hamburgers (on parle de restructuration des aliments) (33-46). Le chitosane permet de prolonger la durée de vie des oeufs (18,21,25,47), des fruits et légumes (48-55), des fromages (56) ou encore des céréales et dérivés (27,57,58). Il faut noter que le chitosane n'affecte pas les caractéristiques organoleptiques des produits (couleur, saveur et texture). Le chitosane est également utilisé pour désacidifier et détoxifier des boissons comme les bières, les jus de fruits et les vins (59,60,68-70), ou tout simplement pour purifier et clarifier des eaux et des liquides alimentaires (66,67). Le chitosane est un agent de stabilisation de la couleur et des arômes. Il peut servir pour immobiliser des enzymes (papaïne) ou pour encapsuler des composés bioactifs dans les aliments (6,9).

3.1. Rôle antimicrobien

Le chitosane présente une activité antimicrobienne face aux différents groupes de microorganismes, bactéries, virus, champignons, et levures (37,38,48,58,59,64,71). C'est la raison pour laquelle on l'utilise comme additif de conservation afin d'éviter la détérioration des aliments et la prolifération bactérienne. Il a aussi été utilisé comme agent antimicrobien et pour éviter la mélanose ou le noircissement des crustacés et mollusques (61-65).

L'interaction entre les microorganismes et le chitosane dépend d'une part de l'espèce microbienne, et d'autre part du type et de la concentration en polymères (16,20,32). En général, les moisissures et les levures sont les plus sensibles au chitosane suivies des bactéries. Seule, la fraction soluble en milieu acide (pH 5,5) présente une capacité antimicrobienne ; aux pH supérieures, le biopolymère est insoluble, ce qui se traduit par une perte drastique de son efficacité (31). Ceci limite son utilisation à certains type d'aliments. Le mécanisme d'action du chitosane est attribuable à l'interaction ionique entre les groupes cationiques de ses macromolécules avec les groupes anioniques de cette membrane cellulaire microbienne, qui sont à l'origine de la rupture de la membrane (72-74). De plus, le chitosane peut agir comme un agent séquestrant de certains métaux, pouvant interférer dans la formation de toxines et la croissance microbienne (75).

3.2. Effet antioxydant

Le chitosane et ses dérivés peuvent être utilisé pour retarder ou prévenir l'oxydation d'autres composés, principalement les graisses (lipides), ce qui évite à l'aliment de rancir. Encore une fois, son rôle est d'extraire et de fixer les métaux, et/ou de se combiner aux lipides. Son efficacité dépend de sa concentration et du type de chitosane utilisé (75,76). Des exemples peuvent être trouvés dans la

littérature sur la capacité du chitosane à réduire l'oxydation lipidique dans la chair de poisson, des produits de la pêche (17,19,46,77), et dans les viandes (33,34,78,79). Le chitosane permet par exemple d'extraire le fer qui est responsable des mauvaises odeurs dans les viandes.

Des auteurs ont mis en évidence que la capacité antioxydante du chitosane est comparable à celle obtenue à partir d'antioxydants synthétiques traditionnels comme le BHT (17). Néanmoins, les performances dépendent de la masse moléculaire et du degré d'acétylation du chitosane (3,24). D'autres auteurs mettent davantage en avant le pouvoir antibactérien du chitosane que sa capacité antioxydante (35,78).

3.3. Capacité de formation de films protecteurs

Dans les paragraphes précédents, nous avons vu que le chitosane en tant qu'agent fonctionnel peut avoir un rôle protecteur quand il est incorporé dans la matrice de l'aliment. Un autre moyen de protection consiste à utiliser le chitosane comme film d'emballage alimentaire (**Figure 2**). Le conditionnement est un facteur fondamental pour la conservation et la protection des aliments, agissant comme une barrière contre l'humidité, les gaz et les attaques microbiennes. Actuellement, la plupart des matériaux d'emballage qu'on utilise sont d'origine synthétique. Cependant, pour des raisons environnementales, on cherche de plus en plus à utiliser des films recyclables, biodégradables voire comestibles. Toutes ces fonctions (protection microbiologique, biodégradabilité...) que l'on demande à un matériau d'emballage, sont remplies par le chitosane. Il convient de rappeler que la chitine présente naturellement une capacité de formation de films protecteurs résistants, durables et flexibles, ayant une perméabilité modérée à l'eau et une capacité à agir comme une barrière à la pénétration de l'oxygène et des microorganismes (22,80-83).

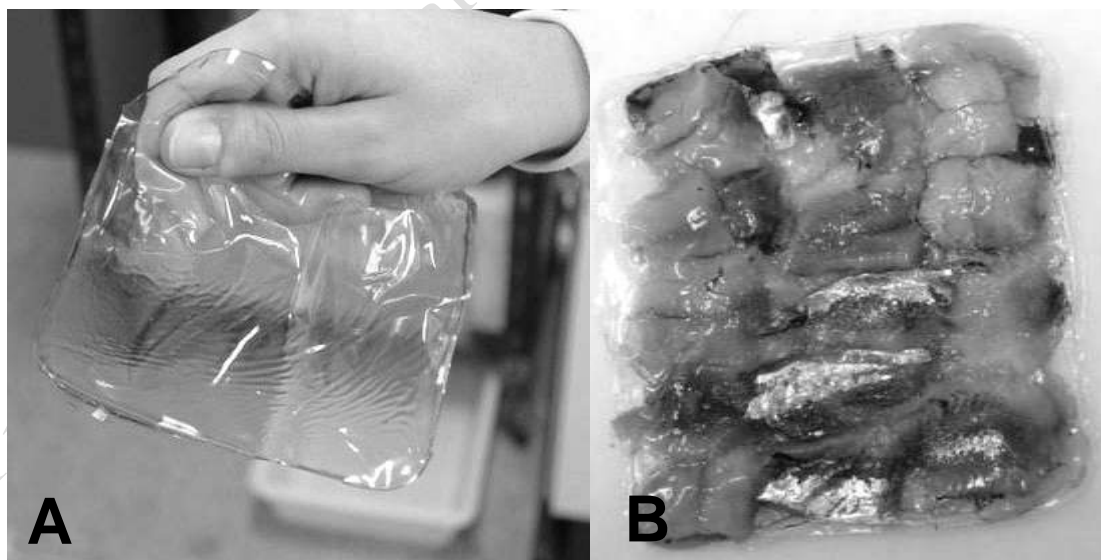


Figure 2. Film comestible de chitosane (A) et son application dans la protection du poisson (B).

Il existe différents types de biopolymères pour obtenir des films biodégradables et/ou comestibles. On peut citer des produits à base de protéines (gluten de blé, collagène, maïs, soja, mélange protéinique et lactosérum), de polysaccharides

(cellulose, chitosane, alginate, amidon, pectine, dextrine), ou encore à base de lipides (paraffines, acylglycérols, acides gras). Ces dix dernières années, les recherches se sont dirigées vers des emballages bioactifs, c'est à dire des films protecteurs qui contiennent des composés ayant une activité antioxydante et antimicrobienne. L'idée est de protéger plus durablement en contrôlant la libération graduelle du composé bioactif (82,84). Les films de chitosane ont été utilisés pour emballer des fruits et légumes (54), les poissons, crustacés et mollusques (84,85,85), les viandes, les fromages (56) et les pizzas précuites (58).

Une autre méthode utilisée pour protéger les aliments consiste à les recouvrir soit par immersion dans une solution de chitosane, soit par un spray. Par exemple, les fruits et légumes sont traités par cette méthode ce qui permet de retarder le processus de maturation et d'inhiber le développement fongique (49,50,52,53,55,86). On peut utiliser le chitosane par cette voie pour conserver les poissons (42,45,64), les viandes (35,39), les œufs (18,21,25,47), les champignons (50) et les fromages (56).

3.4. Capacités gélifiante et émulsionnante

Le chitosane joue également un rôle important dans l'alimentation en tant qu'agent liant (stabilisant, épaississant, émulsionnant...). Il a été démontré que le chitosane peut être utilisé pour la stabilisation d'émulsions dans la préparation de sauces. Il augmente la viscosité, la stabilité à l'écémage, tout en diminuant la taille des gouttelettes formées lors de l'émulsion (87,88). Son mécanisme d'action est dû à des interactions électrostatiques. Le chitosane peut être utilisé comme gélifiant dans des produits restructurés de viande et de poisson (23,40,41,46,89-91). Il semble qu'il agisse dans la fixation des protéines, principalement par des ponts électrostatiques entre les groupes cationiques du chitosane et les groupes anioniques de la protéine. Ces mécanismes permettent d'expliquer l'amélioration de la texture et de la capacité de rétention de l'eau et de la graisse (90). Dans le cas précis du poisson, il a été mis en évidence une interaction entre le chitosane et une enzyme propre à quelques espèces de poisson, la transglutaminase, qui intervient dans le processus de contrôle de la texture des protéines musculaires (40,91).

4. Le chitosane comme ingrédient fonctionnel

4.1. Capacité de fixation des graisses

Le chitosane est une fibre naturelle capable d'apporter des propriétés technologiques (rôle d'additif) aux aliments. Il peut aussi présenter des propriétés de fibre diététique dans l'organisme une fois l'aliment ingéré. Le chitosane est en effet connu pour sa capacité à adsorber des substances comme le cholestérol, le glucose ou encore les acides biliaires. Le chitosane est ainsi utilisé comme complément alimentaire et produit diététique car il exerce une activité hypocholestérolémiant en piégeant les lipides, ce qui favorise la perte de poids (15,92-96). Le mécanisme d'action est dû au fait que le chitosane émulsionne les lipides en milieu acide (97). A la différence des fibres d'origine végétale, les groupes amine du chitosane captent des protons dans les fluides acides de l'estomac, ce qui entraîne la formation de groupes aminés protonés. Ainsi, les molécules chargées négativement comme les graisses, les acides gras, les autres lipides et les acides biliaires présentent une interaction avec le chitosane. Le chitosane interfère aussi en piégeant les lipides

neutres, tels que le cholestérol et les autres stérols par des ponts hydrophobes (76). Ces liaisons électrostatiques et hydrophobiques sont la cause de la formation de substances macromoléculaires complexes qui sont faiblement attaqués par les processus digestifs dans l'organisme et sont alors éliminés par les voies naturelles. En effet, une fois dans l'intestin, l'émulsion de graisse avec le chitosane change immédiatement pour devenir un gel insoluble en raison du pH du milieu ; de cette manière les vésicules de graisse ne peuvent être attaquées par les enzymes pancréatiques ou intestinales, ce qui empêche ainsi l'absorption des graisses (97). La présence de l'acide ascorbique peut favoriser une plus forte élimination des graisses (98). Le chitosane a également d'autres effets bénéfiques comme l'amélioration du transit intestinal en contribuant à rétablir la flore bactérienne, et la diminution de l'acide urique en favorisant la rétention d'eau.

4.2. Capacité prébiotique

Au contraire des probiotiques, c'est à dire des microorganismes vivants, les prébiotiques sont des hydrates de carbone non digestibles qui favorisent le développement de la flore intestinale (croissance de *bifidobacteria* et *lactobacilli*). Les applications industrielles se sont fortement développées ces dernières années, dans le domaine des formulations prébiotiques et dans les produits contenant des organismes probiotiques et des oligosaccharides prébiotiques.

Les oligosaccharides non digestibles sont des hydrates de carbone avec une masse moléculaire faible, obtenus au moyen de sucres et de polysaccharides (oligo-glucanes, oligo-chitosanes et oligo-galacturonates) (30). Ils peuvent être obtenus par extraction directe de sources naturelles, ou par des processus chimiques en hydrolysant des polysaccharides ou par voie enzymatique à partir de disaccharides (26). Les oligosaccharides de chitosane sont un type de prébiotiques intéressant car ils altèrent favorablement le balance de la microflore intestinale, inhibent la croissance de bactéries nocives, augmentent la fonction immunologique tout en favorisant une bonne digestion (28,29).

5. Discussion

L'abondante littérature a clairement démontré l'intérêt potentiel du chitosane pour des applications dans le domaine alimentaire. Néanmoins, des questions subsistent. Par exemple, de nombreuses études mettent en avant la relation étroite qui existe entre sa capacité à être utilisé comme aliment fonctionnel et ses propriétés intrinsèques (masse moléculaire, DA). Or, il reste encore difficile d'obtenir à l'échelle industrielle des lots reproductibles de chitosane présentant des caractéristiques spécifiques en termes de masse moléculaire, DA et cristallinité. Des questions se posent également sur les quantités à utiliser pour être efficace, ainsi que sur la compétition avec d'autres fibres alimentaires utilisés.

Le chitosane, dans les doses recommandées, est cliniquement bien toléré, puisque aucune étude n'a montré un rôle négatif. Cependant, il faut contrôler les régimes alimentaires afin d'éviter l'altération de la flore intestinale. De plus, de fortes doses de chitosane peut entraver l'absorption du calcium, des minéraux et des vitamines liposolubles (11). Son utilisation par les enfants, les femmes enceintes et les personnes allergiques aux crustacés est déconseillé. Il y a, néanmoins, un débat actuellement car les résultats des études dépendent encore une fois du type de chitosane utilisé.

6. Conclusions

Le chitosane et ses dérivés ont un impact significatif dans le développement de nouveaux produits alimentaires. Ils peuvent être soit incorporé directement dans les produits, soit être utilisé comme film protecteur. Le chitosane et ses dérivés trouvent, en effet, de nombreuses applications concrètes en tant qu'additifs et/ou agent fonctionnel dans le secteur alimentaire. De nouveaux marchés se sont également ouverts dans le domaine des emballages biocompatibles. Ces perspectives prometteuses font toutefois débat dans la littérature en raison de la forte dépendance des performances avec les caractéristiques du chitosane utilisé.

Remerciements

Je remercie le Ministère des Affaires Etrangères et de la Coopération d'Espagne pour l'aide concédée A/011205/07 dans le programme de coopération inter-universitaire et de recherche scientifique AECI-MEC 2007.

Références bibliographiques

- (1) Borderías AJ, I Sánchez-Alonso, M Pérez-Mateos. Trends Food Sci Technol 16 (2005) 458.
- (2) Shahidi F, J Synowiecki. J Agric Food Chem 39 (1991) 1527.
- (3) Yen MT, YH Tseng, RC Li, JL Mau. Lebensm Wiss Technol 40 (2007) 255.
- (4) Harish Prashanth KV, RN Tharanathan. Trends Food Sci Technol 18 (2007) 117.
- (5) No HK, SP Meyers, W Prinyawiwatkul, Z Xu. J Food Sci 72 (2007) R87.
- (6) Agullo E, MS Rodríguez, V Ramos, L Albertengo. Macromol biosci 3 (2003) 521.
- (7) Srinivasa PC, RN Tharanathan. Food Rev Int 23 (2007) 53.
- (8) Tharanathan RN, FS Kittur. Crit Rev Food Sci Nutr 43 (2003) 61.
- (9) Shahidi F, JKV Arachchi, YJ Jeon. Trends Food Sci Technol 10 (1999) 37.
- (10) Knorr D. Process Biochemistry 21 (1986) 90.
- (11) Koide SS. Nutr Res 18 (1998) 1091.
- (12) Prashanth KVH, RN Tharanathan. Trends Food Sci Technol 18 (2007) 117.
- (13) Rinaudo M. Progr Polym Sci 31 (2006) 603.
- (14) Gibert O, SK Rakshit. J Sci Food Agric 85 (2005) 1938.
- (15) Ylitalo R, S Lehtinen, E Wuolijoki, P Ylitalo, T Lehtimäki. Arzneim Forsch 52 (2002) 1.
- (16) No HK, NY Park, SH Lee, SP Meyers. Int J Food Microbiol 74 (2002) 65.
- (17) Kim KW, RL Thomas. Food Chem 101 (2007) 308.
- (18) Su HK, KN Hong, W Prinyawiwatkul. J Food Sci 72 (2007) S44.
- (19) Kamil JYVA, YJ Jeon, F Shahidi. Food Chem 79 (2002) 69.
- (20) Yang TC, CC Chou, CF Li. Int J Food Microbiol 97 (2005) 237.
- (21) No HK, W Prinyawiwatkul, SP Meyers. J Food Sci 70 (2005) S377.
- (22) Nadarajah K, W Prinyawiwatkul, KN Hong, S Sathivel, Z Xu. J Food Sci 71 (2006) E33.
- (23) Chen YC, CH Wang, LS Lai, KW Lin. J Food Sci 68 (2003) 826.
- (24) Xing R, H Yu, S Liu, W Zhang, Q Zhang, Z Li. Bioorg Med Chem 13 (2005) 1387.
- (25) Kim SH, HK No, W Prinyawiwatkul. J Food Sci 72 (2007) S44.
- (26) Somashekar D, R Joseph. Bioresour Technol 55 (1996) 35.
- (27) Tsai G, M Tsai, J Lee, M Zhong. J Food Prot 69 (2006) 2168.
- (28) Huang RL, ZY Deng, CB Yang, YL Yin, MY Xie, GY Wu. J Sci Food Agric 87 (2007) 53.
- (29) Lee HW, YS Park, JS Jung, WS Shin. Anaerobe 8 (2002) 319.
- (30) Mussatto SI, IM Mancilha. Carbohydr Polym 68 (2007) 587.
- (31) Qin CQ, HR Li, Q Xiao, Y Liu, JC Zhu, YM Du. Carbohydr Polym 63 (2006) 367.
- (32) Juma M, FH Furkert, BW Muller. Eur J Pharm Biopharm 53 (2002) 115.
- (33) Darmadji P, M Izumimoto. Meat Sci 38 (1994) 243.
- (34) Georgantelis D, I Ambrosiadis, P Katikou, G Blekas, PA Georgakis. Meat Sci 76 (2007) 172.
- (35) Rao MS, R Chander, A Sharma. J Food Sci 70 (2005) M325.
- (36) Roller S, S Sagoo, R Board, T O'Mahony, E Caplice, G Fitzgerald. Meat Sci 62 (2002) 165.
- (37) Sagoo S, R Board, S Roller. Food Microbiol 19 (2002) 175.

- (38) Juneja VK, H Thippareddi, L Bari, Y Inatsu, S Kawamoto, M Friedman. J Food Sci 71 (2006) M236.
- (39) Wu Y, JW Rhim, CL Weller, F Hamouz, S Cuppett, M Schnepf. J Food Sci 65 (2000) 300.
- (40) Benjakul S, W Visessanguan, S Phatchrat, M Tanaka. J Food Biochem 27 (2003) 53.
- (41) Benjakul S, W Visessanguan, M Tanaka, S Ishizaki, R Suthidham, O Sungpech. J Sci Food Agric 81 (2001) 102.
- (42) Sathivel S. J Food Sci 70 (2005) E455.
- (43) Kok TN, JW Park. J Food Qual 30 (2007) 1.
- (44) López-Caballero ME, MC Gómez-Guillén, M Pérez-Mateos, P Montero. J Food Sci 70 (2005) M166.
- (45) López-Caballero ME, MC Gómez-Guillén, M Pérez-Mateos, P Montero. Food Hydrocoll 19 (2005) 303.
- (46) Mao L, T Wu. J Food Eng 82 (2007) 128.
- (47) Caner C, O Cansiz. J Sci Food Agric 87 (2007) 227.
- (48) Chien PJ, CC Chou. J Sci Food Agric 86 (2006) 1964.
- (49) Durango AM, NFF Soares, NJ Andrade. Food Control 17 (2006) 336.
- (50) Eissa HAA. J Food Qual 30 (2007) 623.
- (51) Inatsu Y, ML Bari, S Kawasaki, S Kawamoto. J Food Sci 70 (2005) M393.
- (52) Meng XH, BQ Li, J Liu, SP Tian. Food Chem 106 (2008) 501.
- (53) Park S, SD Stan, MA Daeschel, Y Zhao. J Food Sci 70 (2005) M202.
- (54) Srinivasa PC, R Baskaran, MN Ramesh, KV Harish Prashanth, RN Tharanathan. Eur Food Res Technol 215 (2002) 504.
- (55) Devlieghere F, A Vermeulen, J Debevere. Food Microbiol 21 (2004) 703.
- (56) Duan J, S Park, MA Daeschel, Y Zhao. J Food Sci 72 (2007) M355.
- (57) Huang J, C Huang, Y Huang, R Chen. Lebensm Wiss Technol 40 (2007) 1287.
- (58) Rodríguez MS, V Ramos, E Agulló. J Food Sci 68 (2003) 271.
- (59) Gil G, S del Monaco, P Cerrutti, M Galvagno. Biotechnol Lett 26 (2004) 569.
- (60) Spagna G, RN Barbagallo, PG Pifferi. J Agric Food Chem 48 (2000) 4619.
- (61) Chen CS, WY Liao, GJ Tsai. J Food Prot 61 (1998) 1124.
- (62) Chhabra P, Y Huang, JF Frank, R Chmielewski, K Gates. J Food Prot 69 (2006) 1600.
- (63) López-Caballero ME, O Martínez-Álvarez, MC Gómez-Guillén, P Montero. Eur Food Res Technol 223 (2006) 7.
- (64) Simpson BK, N Gagne, INA Ashie, E Noroozi. Food Biotechnol 11 (1997) 25.
- (65) Chaiyakosa S, W Charernjiratragul, K Umsakul, V Vuddhakul. Food Control 18 (2007) 1031.
- (66) Wibowo S, G Velazquez, V Savant, JA Torres. Bioresour Technol 98 (2007) 539.
- (67) Konovalova IN, VY Novikov, NV Stepanova, KV Reut. Russ J Appl Chem 77 (2004) 254.
- (68) Cheng WP, FH Chi, RF Yu, YC Lee. J Polym Environ 13 (2005) 383.
- (69) He Z, W Li, X Lin, D Lu, H Xie. Rengong Jingti Xuebao 35 (2006) 199.
- (70) Oszmiański J, A Wojdyło. Eur Food Res Technol 224 (2007) 755.
- (71) Guo ZY, R Chen, RX Xing, S Liu, HH Yu, PB Wang. Carbohydr Res 341 (2006) 351.
- (72) Helander IM, EL Nurmiaho-Lassila, R Ahvenainen, J Rhoades, S Roller. Int J Food Microbiol 71 (2001) 235.
- (73) Cuero RG. EXS 87 (1999) 315.
- (74) Rabea EI, MET Badawy, CV Stevens, G Smagghe, W Steurbaut. Biomacromolecules 4 (2003) 1457.
- (75) Kaminski W, E Tomczak, K Jaros. Desalination 218 (2008) 281.
- (76) Wydro P, B Krajewska, K Hac-Wydro. Biomacromolecules 8 (2007) 2611.
- (77) Shahidi F, J Kamil, YJ Jeon, SK Kim. J food lipids 9 (2002) 57.
- (78) Kanatt SR, R Chander, A Sharma. Food Chem 107 (2008) 845.
- (79) Kanatt SR, R Chander, A Sharma. Food Chem 106 (2008) 521.
- (80) Coma V, A Martial-Gros, S Garreau, A Copinet, F Salin, A Deschamps. J Food Sci 67 (2002) 1162.
- (81) Park S, MA Daeschel, Y Zhao. J Food Sci 69 (2004) M215.
- (82) Park S, Y Zhao. J Agric Food Chem 52 (2004) 1933.
- (83) Sebtli I, A Martial-Gros, A Carnet-Pantiez, S Grelier, V Coma. J Food Sci 70 (2005) M100.
- (84) Gómez-Estaca J, P Montero, B Giménez, MC Gómez-Guillén. Food Chem 105 (2007) 511.
- (85) Jeon YJ, JYVA Kamil, F Shahidi. J Agric Food Chem 50 (2002) 5167.
- (86) Han C, C Lederer, M McDaniel, Y Zhao. J Food Sci 70 (2005) S172.
- (87) Speiciene V, F Guilmineau, U Kulozik, D Leskauskaite. Food Chem 102 (2007) 1048.
- (88) Rodríguez MS, LA Albertengo, E Agulló. Carbohydr Polym 48 (2002) 271.

- (89) Gómez-Guillén MC, P Montero, MT Solas, M Pérez-Mateos. Food Res Int 38 (2005) 103.
- (90) Kachanechai T, P Jantawat, R Pichyangkura. Food Hydrocolloids 22 (2008) 74.
- (91) Kataoka J, S Ishizaki, M Tanaka. J Muscle Foods 9 (1998) 209.
- (92) Gallaher DD, CM Gallaher, GJ Mahurt, TP Carr, CH Hollingshead, R Hesslink. J Am Coll Nutr 21 (2002) 428.
- (93) Mhurchu CN, C Dunshea-Mooij, D Bennett, A Rodgers. Obes Rev 6 (2005) 35.
- (94) Yao HT, MT Chiang. J Food Drug Anal 14 (2006) 183.
- (95) Trautwein EA, U Jürgensen, HF Erbersdobler. Nutrition Research 17 (1997) 1053.
- (96) Liu J, J Zhang, W Xia. Food Chem 107 (2008) 419.
- (97) Rodríguez MS, LE Albertengo. Biosci Biotechnol Biochem 69 (2005) 2057.
- (98) Kanauchi O, K Deuchi, Y Imasato, M Shizukuishi, E Kobayashi. Biosci Biotechnol Biochem 59 (1995) 786.